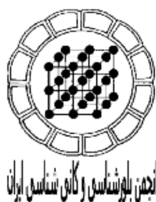
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۴، از صفحهٔ ۵۹۷ تا ۶۰۸



بررسی خاستگاه کانسار جارو با کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی سنگ میزبان، شیمی کانه‌ها و بررسی شاره‌های درگیر کوارتز: معرفی پتانسیل اقتصادی طلا و نقره

محبوبه جمشیدی بدر*[۱]، نرگس سادات فرامرزی[۲]، فریبرز مسعودی[۳]، زهرا صالحی[۴]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران.

۲- واحد تحقیق و توسعه (R&D)، شرکت صنایع معدنی پارس کانی، تهران ۱۵۹۳۶۶۳۴۱۵، ایران.

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران.

(دریافت مقاله: ۹۳/۷/۱۵ ، نسخه نهایی: ۹۳/۱۰/۱۰)

چکیده: کانسار جارو به سن ائوسن میانی- الیگوسن، در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرج و در میان سنگ‌های آذرین اسیدی تا بازی رخنمون دارد. نتایج ژئوشیمیایی سنگ میزبان آذرین حاکی از ماهیت آهکی-قلیایی، ماگماتیسم وابسته به محیط کششی پشت قوس و فقدان پتانسیل اقتصادی آن‌ها است. شواهد سنگ‌نگاری و ژئوشیمی کانی‌های مس نشان دهنده‌ی کانه‌زایی با ماهیت آزاد، سولفیدی، کربناتی، سیلیکات آبدار مس و اکسی- هیدروکسیدی با بافت غالب رگه ای است. علاوه بر مس، نتایج ژئوشیمی کانسنگ به پتانسیل اقتصادی طلا و نقره نیز اشاره دارد. نتایج توزیع ژئوشیمیایی عناصر در کانی های مس و زمینه‌ی سنگ نشان‌دهنده‌ی تمرکز عنصر نقره در کالکوپیریت است. بررسی شاره‌های درگیر دال بر خاستگاه شاره‌ی کانه‌ساز وراگرمایی و آمیختگی شاره‌های ماگمایی با شاره‌های جوی است؛ لذا نمی‌توان یک خاستگاه ماگمایی محض را برای کانه‌زایی این منطقه در نظر گرفت. شواهد کانی‌شناسی و بررسی شاره‌های درگیر، به نقش همبافت‌های سولفیدی و آنیون‌های SO_4^{-2} یا HS^- در انتقال عناصر فلزی کانسار و دگرسان‌های موجود به همراه حضور کانی‌هایی چون مالاکیت و آزوریت به شرایط احیا در زمان کانه‌زایی اشاره دارند.

واژه‌های کلیدی: *کانسار جارو؛ شیمی کانی‌ها؛ مس؛ نقره؛ طلا؛ شاره‌های درگیر.*

مقدمه

گستره‌ی زمین‌شناسی جنوب غرب شهرستان کرج و جنوب شرقی اشتهارد، جزء پهنه‌ی فلز زایی ساوه- کاشان- نایین است. طی ۵۰ سال گذشته این منطقه از نظر معادن فلزی (مس، سرب، روی، آهن، نقره، طلا) و غیر فلزی (باریت، شن، ماسه) مورد توجه بوده است. از معادن غیرفعال آن می‌توان به معادن جارو، قمشلو و ایپک اشاره کرد [۱]. کانسار جارو در ´۳۷°۳۵ تا ´۴۳°۳۵ عرض شمالی و ´۳۹°۵۰ تا ´۵۵°۵۰ طول شرقی، در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب غربی کرج و ۱۲ کیلومتری جنوب غربی شهرستان ماهدشت استان البرز واقع شده است. با توجه به اینکه اغلب بررسی‌های انجام شده بر مبنای کانی‌شناسی، بافت، ساخت، و شواهد زمین‌ساختی متمرکز بوده است [۱-۳]؛ در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از خصوصیات ژئوشیمیایی کانسار جارو و سنگ‌های آذرین پیرامون، و با بررسی شاره‌های درگیر موجود در رگه‌های کوارتز، به ماهیت شاره‌های کانه‌ساز دست یافت. ژئوشیمی این کانسار از دیدگاه پی‌جویی عناصر طلا و نقره نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۳۵۷۵۱۳، نمابر: ۰۲۶۴۵۳۸۳۲۴۴، پست الکترونیکی: m_jamshidi@pnu.ac.ir

روش بررسی

در این پژوهش، تعداد ۱۲ مقطع نازک و صیقلی از کانسنگ تهیه و از نظر سنگ‌نگاری مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به کانی‌شناسی مقاطع بررسی شده، تعداد ۸ نمونه از کانسنگ و ۲۳ نمونه از سنگ‌های آذرین پیرامون آن انتخاب و به‌روش ICP-AES[1] به‌وسیله‌ی دستگاه ELAN 9000 در آزمایشگاه SSC[۲] روسیه مورد آنالیز قرار گرفتند. به‌منظور دریافت نتایج دقیق‌تر در مورد طلا، همان نمونه‌ها دوباره به‌روش AAS[۳] در آزمایشگاه شرکت صنایع معدنی پارس کانی، آنالیز شدند. برای بررسی نوع کانی‌زایی، ۲ مقطع صیقلی تهیه و به‌روش SEM Mapping در دانشگاه Martin Luther آلمان از یک دستگاه JEOL JSM 6300 جفت شده با آشکارساز EDX از نوع XFlash 5010 Bruker استفاده شده. طی این آنالیز شتاب ولتاژ 20 keV، فاصله ۲۵ میلیمتر و نتایج با نرم افزار Quantax 200 پردازش شد. به‌منظور بررسی شاره‌های درگیر برای تعیین خاستگاه شاره کانه‌ی ساز و شرایط حاکم در زمان کانه‌زایی، ۶ مقطع دو رو صیقل، از رگه‌های کوارتزی با قطع کننده‌ی کانسنگ تهیه شدند. بررسی‌های میکرو دماسنجی روی ۸۰ میانبار از بلورهای کوارتز و با استفاده از سیستم سرمایش-گرمایش لینکام مدل THM600، کنترل کننده گرمایی TMS94 و سرد کننده‌ی LNP در دانشگاه خوارزمی صورت گرفت. دقت اندازه‌گیری دستگاه در طول سرد کردن حدود $\pm ۰/۱^\circ C$ و طی عملیات گرمایش $\pm ۲^\circ C$ بوده است.

بحث

زمین‌شناسی

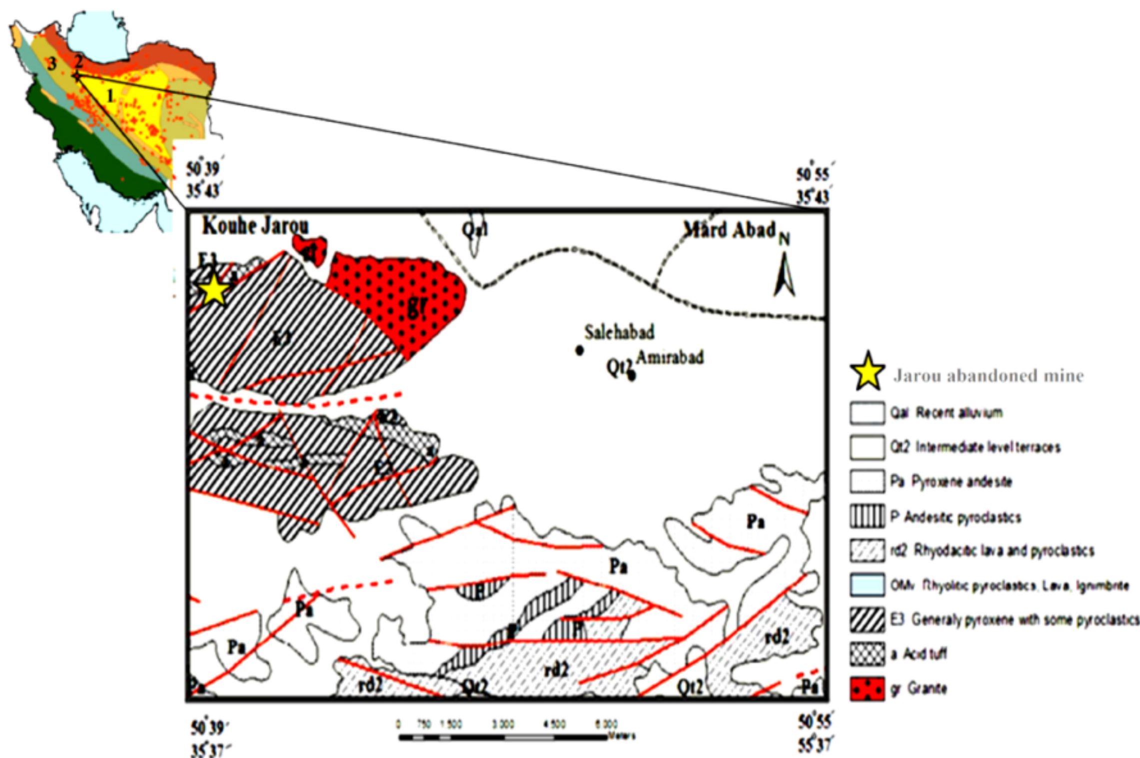
کانسار جارو در حد فاصل منطقه‌های ساختاری ایران مرکزی و کمربند آتشفشانی– نفوذی ارومیه دختر واقع شده است. در منطقه‌ی مورد بررسی سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن دیده نشدند. فعالیت‌های گسترده‌ی آتشفشانی ائوسن پسین- الیگوسن پیشین در این منطقه، به تشکیل تناوب ضخیمی از گدازه (با ترکیب ریولیتی، آندزیتی، تراکیت بازالتی، تراکی آندزیتی و تراکیتی) و آذرآواری (با ترکیب ریولیتی تا داسیتی) انجامید. پس از فاز آتشفشانی شده، در اثر فعالیت‌های ماگمایی الیگوسن تا پلیوسن واحدهای آذرین عمیق و نیمه عمیق (با ترکیب گرانیتی تا دیوریتی) در منطقه‌ی نفوذ کرده‌اند [۲]. کانسار مس جارو به‌صورت رگه‌هایی در راستای شرقی- غربی، در غرب گرانیت مردآباد (به سن الیگوسن تا پلیوسن) و در گستره‌ای متشکل از سنگ‌های ریولیت، آندزیت، تراکیت بازالت، تراکی آندزیت، تراکیت و آذرآواری‌های ریولیتی تا داسیتی (به سن ائوسن پسین- الیگوسن پیشین) جایگزین شده است (شکل ۱) [۳]. فعالیت گسل‌های اصلی چون گوموش داش، جارو و چندین گسل فرعی دیگر، درزه و شکاف‌های متعددی را در این سنگ‌های آذرین ایجاد کرده است. دو دسته درزه اصلی با راستای N50°W و شیب متوسط 50NW در ناحیه قابل تشخیص‌اند و کانی‌زایی بیشتر در داخل این درزه‌ها به‌صورت پرشدن حفره صورت گرفته است. دایک‌های متعدد اسیدی تا بازی در راستای این گسل‌ها نفوذ کرده‌اند. شدت فعالیت این گسل‌ها در حدی است که اثرهای زمین‌ساختی آن به‌صورت میلونیتی شدن در اغلب سنگ‌های آذرین منطقه قابل مشاهده- اند.

سنگ‌نگاری و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

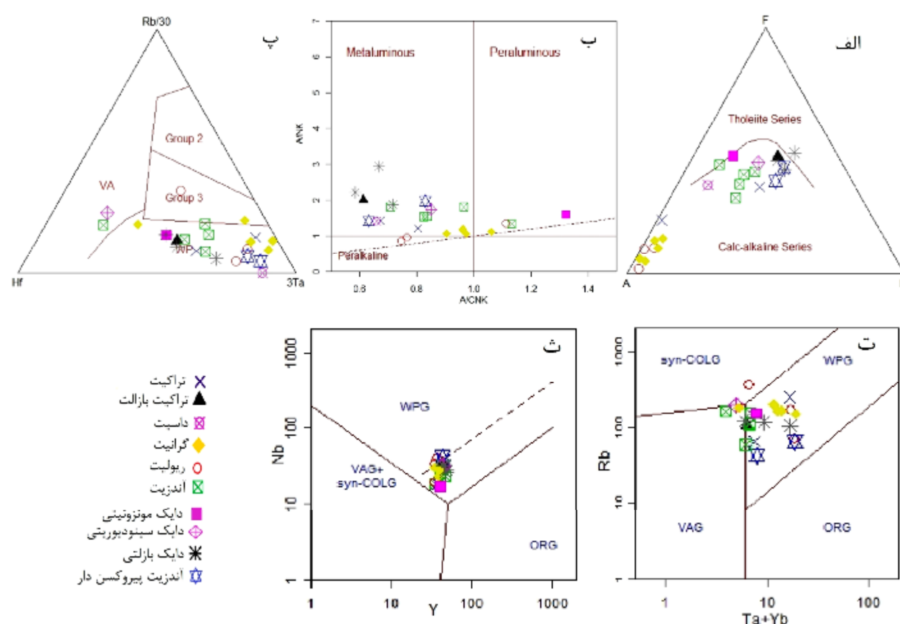
آندزیت و تراکیت مهم‌ترین انوع سنگ‌های آتشفشانی گستره‌ی کانسار جارو هستند. آندزیت‌ها اغلب حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت، آپاتیت، اسفن، اپیدوت، کلریت و کانی‌های تیره با بافت غالب پورفیری، میکرولیتی، تحولی و غربالی‌اند. تراکیت‌ها از کانی‌های فلدسپات قلیایی، پلاژیوکلاز سریسیتی شده، هورنبلند و کانی‌های تیره تشکیل شده‌اند و بافت غالب آن‌ها پورفیری با زمینه‌ی ریز بلوری است. توده‌ی گرانیتی مرد آباد مهم‌ترین سنگ آذرین درونی منطقه در مجاورت کانسار جارو است. این گرانیت هلولوکوکرات از کانی‌های کوارتز، فلدسپات قلیایی، پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند، کلینو پیروکسن، زیرکن، کلریت، اسفن و اپیدوت تشکیل شده است. بافت‌های متعددی از جمله دانه‌ای، ریز دانه‌ای، پرتیتی، گرافیکی و میرمکیتی در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. این گرانیت‌ها خصوصیات گرانیت‌های درون ورقه‌ای و پسا برخورد نوع A_2 را نشان می‌دهند [۴]. به‌طور کلی از نظر ژئوشیمیایی، ماهیت اغلب سنگ‌های آذرین یاد ذکر شده آهکی-قلیایی (شکل۲- الف) و شبه رخشان تا کمی پرآلومین (شکل ۲- ب) است و سرشت‌های محیط کششی پشت قوس را نشان می‌دهند (شکل ۲- پ، ت، ث). همچنین صالحی [۴] بر مبنای شواهد بافتی، نتایج حاصل از ریخت-

1- Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
2- Institute of Solid State Chemistry, Russian academy of Sciences, Urals Branch
3- Atomic absorption spectrometry

شناسی بلورهای زیرکن گرانیت مرد آباد، تعیین سری ماگمایی و بررسی‌های ژئوشیمیایی محیط زمین‌ساختی پشت قوس را برای سنگ‌های آذرین این منطقه مشخص کرده است [۴].



شکل ۱ موقعیت معدن متروکه‌ی مس جارو در نقشه‌ی ساده شده‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه.



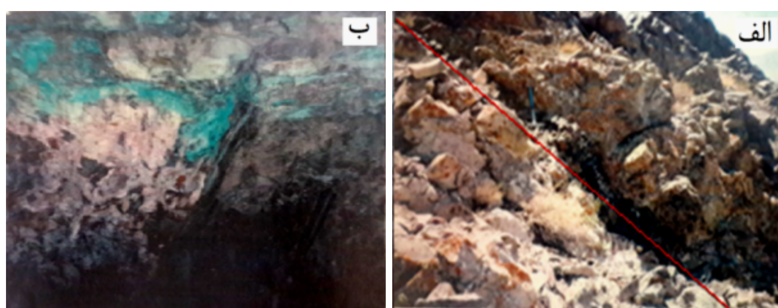
شکل ۲ موقعیت سنگ‌های آذرین اطراف کانسار جارو روی نمودار الف) تفکیک سری آهکی- قلیایی از تولئیتی [۵]؛ ب) A/NK درمقابل A/CNK [۶]؛ پ) جدایش محیط‌های زمین‌ساختی بر اساس عناصر Rb، Hf و Ta [۷]؛ ت و ث) جدایش محیط زمین‌ساختی بر اساس نمودارهای Ta+Yb در برابر Rb و Nb در برابر Y [۸].

کانه‌زایی

به‌دلیل همجواری کانسار جارو با گرانیت مردآباد و دیگر سنگ‌های آذرین منطقه و ماهیت رگه‌ای و پر کننده‌ی درز، شکاف و حفره‌های این کانسار، به‌نظر می‌رسد ماگماتیسم نقش مهمی در کانه‌زایی مس داشته است. به‌عنوان مثال با توجه به روابط صحرایی می‌توان این احتمال را در نظر گرفت که تبلور شاره‌های غنی از مواد فرار فاز پنوماتولیتیک ماگمای گرانیتی در درزه‌ها و شکاف‌های سنگ میزبان عامل اصلی کانه‌زایی منطقه باشد. طی بررسی‌های سنگ‌شناسی و آنالیز ژئوشیمیایی (ICP-AES) (جدول ۱) مشخص شد که هیچ یک از سنگ‌های آذرین پیرامون این کانسار به‌صورت اولیه از عناصر کانه‌ساز غنی نبوده و از پتانسیل اقتصادی برخوردار نیستند. با توجه به نتایج حاصل، احتمالاً ماگماتیسم منطقه بیشتر نقش یک موتور گرمایی را در متحرک ساختن عناصر کانه‌ساز و تمرکز آن‌ها در درزها و شکاف‌های سنگ میزبان ایفا کرده است. در این شرایط به‌دلیل افزایش دمای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن پسین- الیگوسن پیشین در اثر نفوذ ماگمای گرانیتی (الیگوسن تا پلیوسن)، عناصر کانه‌ساز از سنگ خارج و در نقاط کم فشار متمرکز شده‌اند. از آنجا که کانه‌زایی در کانسار جارو اغلب در راستای گسل‌ها و درزه‌ها و به‌صورت پر کننده‌ی حفره‌ها مشاهده شده است (شکل۳- الف) فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش مهمی در ایجاد مناطق کم فشار داشته و به عبارتی محیط مناسبی را برای استقرار عناصر کانه‌ساز فراهم کرده است. به‌عنوان مثال سقف دیواره‌ی معدن متروکه‌ی جارو به شدت تکتونیزه است و منطقه‌ی گسلی که کانی‌زایی در آن انجام شده به‌خوبی دیده می‌شود. حرکت آب از این منطقه در سقف تونل شرایط ایجاد دگرسانی شدید را فراهم کرده است. در این بخش کانی‌های ثانویه‌ای چون کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، سیلیس و کلسیت مشاهده می‌شوند (شکل۳- ب). بررسی مقاطع نازک نیز نشانگر دگرسانی شدید و متنوع منطقه است.

جدول ۱ نتایج آنالیز سنگ‌های آذرین منطقه مورد بررسی به‌روش ICP-AES.

شماره	نوع سنگ	Cu (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Sn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
NF5	ریولیت	۲۱٫۶۵	۱>	۱۰>	۵>	۱۱٫۳	۹٫۰۶	۵>	۱۰	۲۱٫۱۲
NF6	آندزیت	۹۲٫۱۸	۱>	۱۰>	۵>	۲۰٫۵	۶٫۱۷	۵٫۳۳	۱۱٫۱۳	۱۷۰٫۹۵
NF8	آندزیت پیروکسن دار	۵>	۱>	۱۰>	۵>	۱۹٫۵	۵٫۰۶	۶۶٫۱۴	۱۰	۱۲۱٫۴۴
NF9	تراکیت	۸٫۴۱	۱>	۲۳٫۵۵	۵>	۳۰٫۱	۸٫۲	۵>	۴۵٫۳۹	۵۰٫۵۷
NF10	ریولیت	۶٫۳۲	۱>	۱۰>	۵>	۱۳٫۳	۱۲٫۲۳	۵>	۱۷٫۷۸	۲۱٫۸۸
NF12	تراکیت بازالت	۱۴٫۳۴	۱>	۱۰>	۵>	۹	۹٫۸۷	۶۹٫۰۴	۱۳٫۱	۶۴٫۰۸
NF18	تراکیت بازالت	۹٫۵۷	۱>	۱۰>	۵>	۵٫۲	۲٫۳۱	۴۱٫۵	۱۰	۱۱۳٫۶۵
NF21	ریولیت	۸٫۲	۱>	۱۰>	۵>	۱۵٫۲	۲۵٫۳۳	۵>	۱۶٫۶۹	۱۶٫۶۶
NF22	تراکیت بازالت	۴۰٫۳	۱>	۴۱٫۴۸	۵>	۰٫۹	۶٫۱۱	۳۸٫۵۸	۱۰٫۶۵	۱۳۴٫۹۵
NF23	آندزیت	۶٫۴۳	۱>	۱۰>	۵>	۲٫۸	۴٫۲۹	۱۵٫۶۱	۱۳٫۴۱	۵۵٫۹۵
NF29	آندزیت	۵٫۱۵	۱>	۱۰>	۵>	۱۳٫۷	۲٫۱۳	۹٫۵۳	۱۰	۴۴٫۳
NF32	داسیت	۲۶٫۶	۱>	۲۱٫۸۲	۵>	۲۹٫۹	۶٫۸۳	۲۹٫۰۶	۱۰۱٫۱	۴۰۵٫۰۷
NF36	آندزیت	۲۹٫۱۶	۱>	۱۰>	۵>	۲۳٫۹	۲٫۷۵	۱۷٫۱۸	۴۷٫۲	۱۷۳٫۷۶
NF37	گرانیت	۵>	۱>	۱۰>	۵>	۱۱٫۱	۵	۵>	۱۲٫۱۱	۴۵٫۶۵
NF42	دایک سینودیوریتی	۹۳٫۹۸	۱>	۴۰٫۲۷	۵>	۹٫۴	۸٫۰۵	۲۹٫۴۳	۴۷٫۹۴	۱۲۸٫۷۵
NF44	گرانیت	۴۰٫۶۵	۱>	۱۰>	۵>	۱۳٫۶	۱۰٫۳۳	۵>	۲۴٫۸۳	۸۰
NF45	گرانیت	۴۱٫۲۱	۱>	۱۰>	۵>	۴٫۶	۸٫۱۱	۵>	۱۶٫۳۸	۴۳٫۲۳
NF46	دایک مونزونیتی	۷۸٫۳۹	۱>	۱۰>	۵>	۲۱٫۱	۷٫۰۹	۱۲٫۶۹	۳۶٫۰۷	۱۰۲٫۵۱
NF57	دایک بازالتی	۱۰۲٫۴۹	۱>	۵۰٫۲۹	۵>	۱۸٫۲	۱٫۷۴	۴۴٫۹۸	۱۱٫۸۶	۱۵۸٫۷۷
NF58	گرانیت	۵>	۱>	۱۰>	۵>	۱۸٫۴	۴٫۶۶	۵>	۲۰٫۱۷	۲۷٫۸۱
NF59	دایک بازالتی	۱۸۶٫۱۲	۱>	۴۱٫۳۵	۵>	۵٫۳	۴٫۹۹	۳۷٫۵۲	۲۰٫۸۲	۱۰۹٫۸۶
NF66	دایک بازالتی	۱۷۸٫۴	۱>	۲۳٫۱	۵>	۱۲٫۲	۸٫۹۴	۴۸٫۴۹	۵۵٫۳۳	۱۲۸٫۲۸
NF72	گرانیت	۷۰٫۹۹	۱>	۱۰>	۵>	۷٫۲	۲۲٫۴۹	۵>	۴۵٫۹۳	۷۲٫۴۸

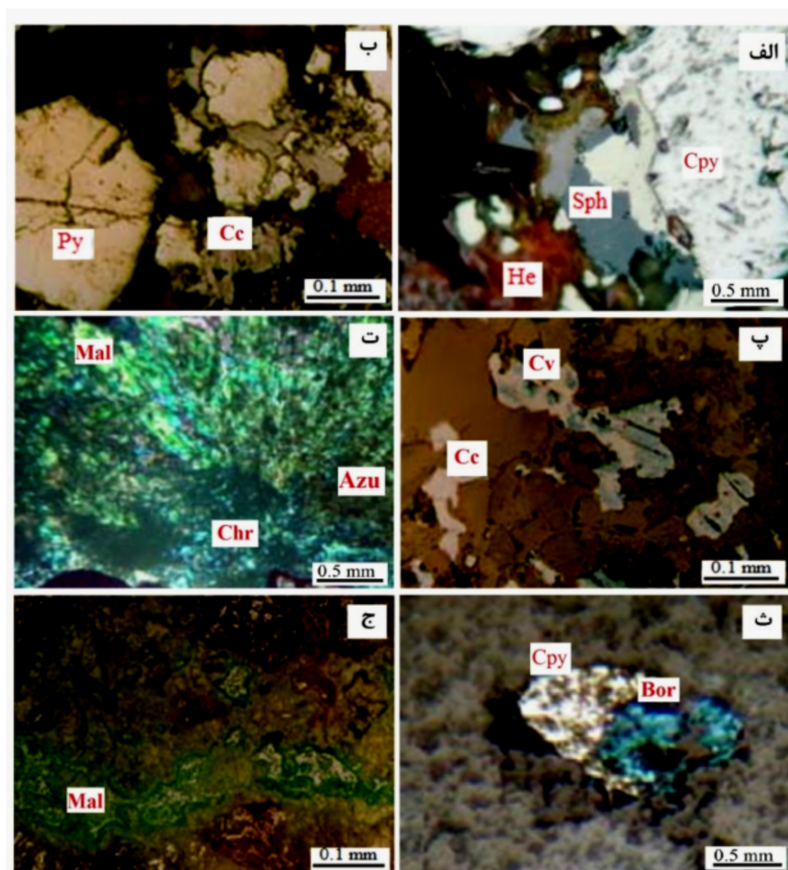


شکل ۳ الف) کانه‌زایی در راستای گسل‌ها، ب) تشکیل کانی‌های کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، سیلیس و کلسیت در سقف معدن متروکه جارو.

تحت تاثیر این دگرسانی که می‌توان آن را به تاثیر گرماب-ها و زمین‌ساخت نسبت داد؛ کانی‌های مختلف از قبیل پیروکسن، آمفیبول، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به‌شدت تغییر شکل یافته‌اند. دگرسانی‌های سیلیسیک (کلسدونی و اپال)، پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت، پیریت و کلسیت)، کلریتی (کلریتی شدن آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها) و سریسیتیک (سریسیت و کوارتز) از مهم‌ترین دگرسانی‌های مشاهده شده هستند. از نظر اقتصادی، کانی‌شناسی منطقه از دو بخش اکسیدی و سولفیدی مس و آهن تشکیل شده است. مهم‌ترین کانی اکسیدی هماتیت است. هماتیت به شکل‌های سوزنی، ورقه‌ای و منشوری که گاهی به الیژیست تبدیل شده است، مشاهده می-شود. شواهد سنگ‌نگاری گویای تشکیل هماتیت ورقه‌ای و منشوری به‌صورت اولیه و تقدم فاز اکسیدی نسبت به فاز سولفیدی است. از کانی‌های سولفیدی کانسار جارو می‌توان به کالکوپیریت و اسفالریت (شکل۴- الف)، پیریت (شکل ۴- ب) و بورنیت اشاره کرد. کالکوپیریت اغلب در محل شکستگی‌ها به کانی‌های ثانویه‌ای چون کوولین و کالکوسیت تجزیه شده است (شکل ۴- پ)، که از سرشتی‌های کانی‌زایی پس از زمین ساخت است. کانی های مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا (شکل ۴- ت) اغلب در نمونه‌های سطحی و کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و کوولین در مناطق عمیق‌تر فراوان‌ترند. مشاهده‌ی آثار کالکوپیریت و لیمونیت در اطراف دهانه‌ی تونل و سقف آن نیز می‌تواند معرف وجود کانی‌های سولفوری در عمق باشد. در نمونه‌های مورد بررسی همرشدی کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت (شکل ۴- ث) نما همزمانی تشکیل این دو کانی در قسمت‌های عمیق‌تر است. بافت غالب در نمونه‌های مورد بررسی به‌صورت پرکننده‌ی فضاهای خالی است و حالت جانشینی کمتر دیده می‌شود. وجود مالاکیت و آزوریت که در اغلب نمونه‌ها، درزه‌ها و رگه‌های موجود در سنگ را پر کرده‌اند می‌تواند معرف وجود ترکیبات آهکی در منطقه باشد (شکل ۴- ج).

در بررسی ICP-AES سنگ کل کانسنگ مس در کانسار جارو، عیار میانگین مس حدود ۳ درصد، عیار میانگین نقره ۲۹۲ ppm، میانگین سرب ۴۵۶۶ ppm و مقدار متوسط روی ۷۵۳ ppm اندازه‌گیری شدند. همچنین با توجه به نتایج آنالیز جذب اتمی (AAS) عیار میانگین طلا حدود ۲۰۲ ppb به دست آمد (جدول ۲). به‌منظور بررسی دقیق‌تر کانی‌های مس در کانسار جارو از آنالیز SEM Mapping استفاده شد. با استفاده از این روش، شیمی ۱۹ نقطه از کانی‌های کانسنگ جارو مورد بررسی قرار گرفت و نوع کانی با بررسی طیف حاصل مشخص شد (شکل۵ و جدول۳). همچنین مشخصات طیف کانی‌های کریزوکلا (N2_ 4)، تنوریت (N4_1) و کالکوپیریت (N6_ 1) در کانسنگ جارو به‌عنوان نمونه در شکل ۶ ارائه شده‌اند. چنان که مشاهده می‌شود؛ نتایج حاصل از بررسی‌های میکروسکوپی با نتایج بررسی SEM Mapping کانی‌ها همخوانی دارد؛ بنابراین با اطمینان بیشتری می‌توان پذیرفت که کانه‌زایی در کانسار جارو بیشتر با ماهیت آزاد (مس طبیعی به صورت پراکنده)، سولفیدی (بورنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، اسفالریت، پیریت، کوولین)، کربناتی (مالاکیت، آزوریت)، سیلیکات آبدار مس (کریزوکلا) و اکسی- هیدروکسیدی (تنوریت، مگنتیت، هماتیت) صورت گرفته است. از کانی‌های باطله این کانسار می‌توان به کوارتز، اپال، کلسیت، باریت، کلریت و کانی‌های رسی اشاره کرد. همچنین در روش SEM Mapping می‌توان با بررسی تصویر به‌دست آمده از پراکندگی عناصر در زمینه‌ی سنگ (Element mapping)، به مقدار و چگونگی پراکندگی عناصر اقتصادی در خارج از کانی نیز پی برد. با بررسی تصویر حاصل از Element mapping کانسار جارو، می‌توان گفت که از میان عناصر پراکنده در زمینه‌ی

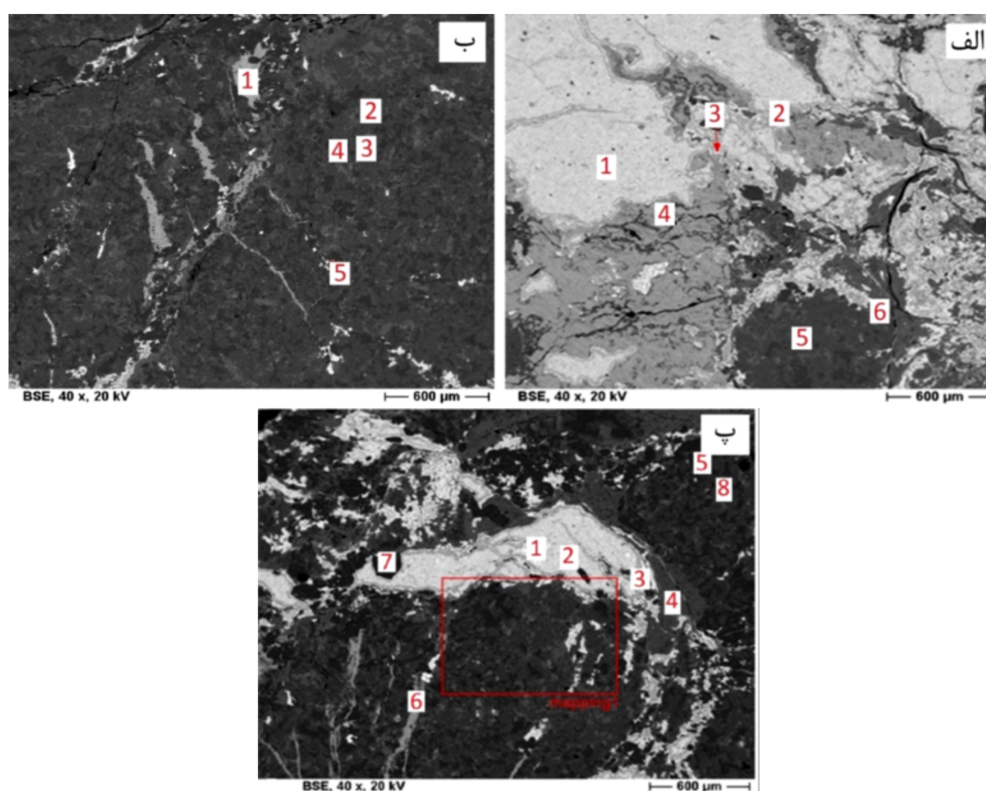
سنگ، تنها مس از اهمیت اقتصادی برخوردار است و عناصر نقره و طلا در کانی‌ها متمرکز شده‌اند. تمرکز نقره در کانی کالکوپیریت در نمونه‌ی N6-1 (شکل ۷) این ادعا را تایید می‌کند (جدول ۳).



شکل ۴ الف) کانی‌های کالکوپیریت (Cpy)، اسفالریت (Sph) و هماتیت (He)، ب) بلور درشت نیمه خود شکل پیریت همراه با کالکوسیت، پ) تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت (Cc) و کوولین (Cv)؛ ت) کانی‌های مالاکیت (Mal) و کریزوکلا (Chr)، ث) همرشدی کانی‌های بورنیت (Bor) و کالکوپیریت (Cpy)، ج) تشکیل مالاکیت در داخل درزها و شکاف‌ها (نور XPL).

جدول ۲ نتایج آنالیز نمونه‌های کانسار مس جارو به‌روش ICP-AES برای عناصر Cu, Ag, As, Bi, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn و به‌روش AAS برای عنصر طلا.

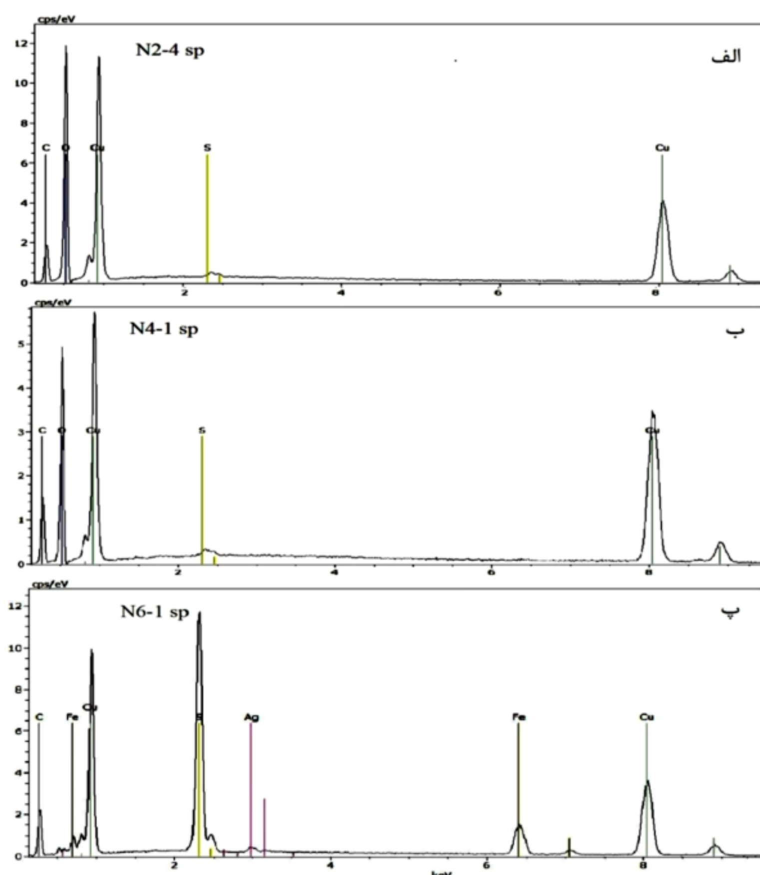
شماره نمونه	Cu (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Au (ppb)
M-1	۴۰۳۶۷٫۹	۲۵۸٫۷	۳۹٫۸	۳۶٫۷	۵۹۰٫۶	۱۰۹۰٫۵	۱۰٫۲	۹۲۵۳٫۸	۳۶۷٫۳	۱۷۲٫۲
M-3	۳۴۱۱۵٫۱	۳۸۴	۵۸٫۴	۶۴٫۲	۳۲۳٫۲	۷۹٫۲	۲۲٫۶	۵۲۳٫۴	۳۴۵٫۳	۱۶۹٫۷
M-8	۱۲۲۴۲٫۶	۲۳۷٫۹	۲۸٫۲	۵۵٫۹	۲۷۷٫۹	۵۶٫۵	۱۹٫۸	۳۲۴۳٫۳	۱۲۵۸٫۳	۱۴۲٫۲
M-9	۵۶۵۲۲٫۳	۲۷۷	۶۴٫۳	۷۷٫۲	۷۸۲٫۶	۲۶۶٫۴	۳۸٫۲	۱۴۶۶۲٫۷	۱۵۸۹٫۹	۳۴۵٫۹
M-12	۶۸۷۳۲٫۷	۴۰۵٫۶	۱۰۹٫۲	۲۰۱٫۳	۵۹٫۹	۲۷٫۸	۱۲٫۷	۲۲۱٫۲	۱۰۲۷٫۶	۳۵۰٫۹
M-13	۲۲۶۷۱٫۹	۳۹۰٫۳	۱۲۸٫۸	۲۵۰٫۲	۱۴۴٫۷	۹۲٫۸	۵۶٫۱	۵۰۸۶٫۳	۱۰۹۸٫۷	۱۳۲٫۳
M-17	۲۱۳۵۰٫۲	۲۴۳٫۶	۱۳٫۱	۲۷٫۸	۷۷٫۲	۱۸٫۴	۱۵٫۸	۴۷۵۰٫۳	۶۵۵٫۳	۱۵۱٫۴
M-20	۳۲۴۳۱٫۱	۱۳۸٫۶	۱۶٫۸	۱۷٫۹	۴۶۴٫۲	۹۲۷٫۲	۸۲٫۳	۳۲۹۸٫۹	۴۱۲٫۲	۱۴۹٫۵
میانگین	۲۸۱۲۶٫۸	۲۹۱٫۹	۵۴٫۰	۹۶٫۸	۲۵۶٫۵	۱۳۶٫۴۴	۴۶٫۶	۴۵۶۶٫۳	۷۵۲٫۶	۲۰۱٫۸



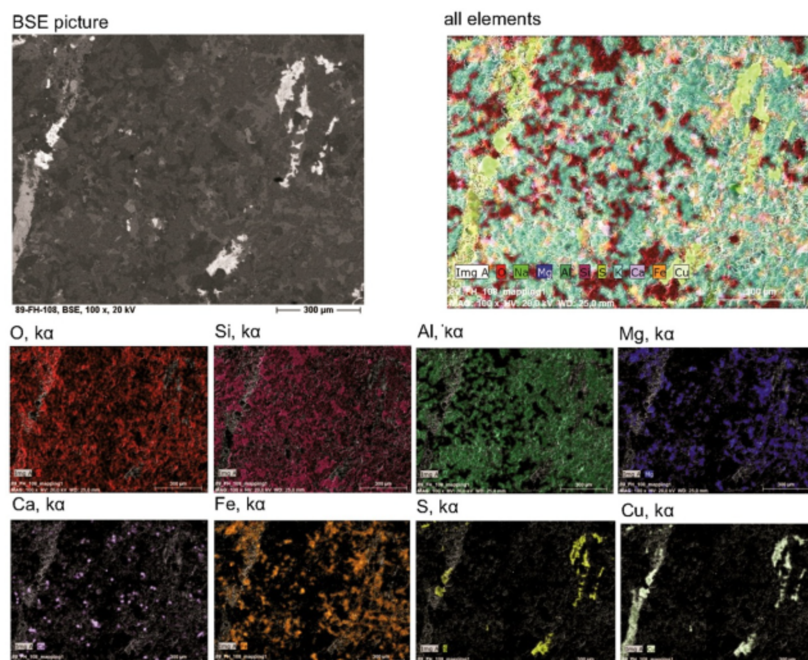
شکل ۵ مکان نقاط آنالیز شده به‌روش SEM Mapping بر روی کانی‌های نمونه‌های الف) N2، ب) N4 و پ) N6 کانسار مس جارو. مستطیل mapping 1 در شکل (پ) گستره آنالیز Element mapping را نشان می‌دهد.

جدول۳ ترکیب شیمیایی کانی های کانسار جارو به روش SEM Mapping.

نقطه	*O*	*Na*	*Mg*	*Al*	*Si*	*S*	*K*	*Mn*	*Fe*	*Ca*	*Ti*	*Cu*	*Zn*	*Pb*	*Ag*	کانی
N2_ 1	-	-	-	-	-	۳۴٫۷	-	-	۳۱٫۳	-	-	۳۳٫۹	-	-	-	کاکوپیریت *(CuFeS2)*
N2_ 2	۳۰٫۵	-	-	-	۳٫۳۲	۴٫۱۹	-	-	۲۶٫۷	۰٫۳	-	۳۱٫۷	-	۳٫۲	-	کالکوپیریت اکسید شده
N2_ 3	۵٫۹	-	-	-	-	۲۱٫۲	-	-	۱٫۱۴	-	-	۷۱٫۶	-	-	-	کالکوپیریت اکسید شده
N2_ 4	۳۶٫۷	-	-	-	-	۰٫۴۱	-	-	-	-	-	۶۲٫۸	-	-	-	کریزوکلا
N2_ 5	۴۱٫۴	۰٫۴	۰٫۷	-	۳۰٫۳	-	۱۳٫۶	-	۱٫۲	-	۰٫۳	-	-	-	-	ارتوکلاز هوازده
N2_ 6	۳۸٫۲	۰٫۳	۳٫۲	-	۲۱	-	۴٫۷۴	۱	۱۵٫۸	-	-	۲٫۴۲	۲٫۵	-	-	کانی رسی
N4_ 1	۲۴٫۶	-	-	-	-	۰٫۵۱	-	-	-	-	-	۷۴٫۸۹	-	-	-	اکسید مس (تنوریت)
N4_ 2	۴۲٫۷	۰٫۱۴	۶٫۲۶	۸٫۵۸	۱۱٫۲۱	-	-	۱٫۶۸	۲۶٫۳۵	-	-	۰٫۶۵	۲٫۴۴	-	-	کانی رسی
N4_ 3	۴۸٫۷۵	-	-	۱۱٫۰۵	۲۷٫۱۱	-	۱۳٫۰۹	-	-	-	-	-	-	-	-	ارتوکلاز هوازده
N4_ 4	۴۸٫۵۷	-	-	-	۱۵٫۴۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	کوارتز
N4_ 5	-	-	-	-	۰٫۳۵	۲۱٫۴۲	-	-	-	-	-	۷۸٫۲۳	-	-	-	کالکوسیت*(Cu2S)*
N6_ 1	-	-	-	-	-	۲۸	-	-	۱۲٫۴	-	-	۵۷٫۵	-	-	۱٫۹۴	کالکوپیریت
N6_ 2	۳٫۰۶	-	-	-	-	۳۱٫۵	-	-	۳۰	-	-	۵۳٫۳	-	-	-	کالکوپیریت اکسید شده
N6_ 3	۳۳٫۹۹	-	-	۰٫۵	۴٫۹۳	۳٫۵۵	-	-	۳۷٫۶	۰٫۲۹	-	۱۹	-	-	-	بورنیت
N6_ 4	۴۹٫۱	۰٫۵۱	۱۰	۹٫۸۲	۱۱٫۱	-	-	۱٫۱	۱۴٫۹	-	-	۰٫۵۹	۲٫۶۷	-	-	کانی رسی
N6_ 5	۳۷٫۵۶	۰٫۴۵	۶٫۹۱	۸٫۴۷	۱۰٫۱	-	-	۱٫۴۱	۲۱	۰٫۴۱	-	-	۳٫۵۶	-	-	کانی رسی
N6_ 6	۳۳٫۷۲	-	-	-	-	۰٫۳۹	-	-	-	-	-	۶۵٫۹	-	-	-	اکسید مس (تنوریت)
N6_ 7	۵۱٫۹۹	-	-	-	۴۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	کوارتز
N6_ 8	۳۷٫۴۵	۰٫۴۱	-	۱۳	۳۳٫۸	-	۱۵٫۲	-	-	-	-	-	-	-	-	ارتوکلاز هوازده



شکل ۶ الف) مشخصات طیف کانی‌های کریزوکلا (N2_4)، ب) تنوریت (N4_1) و پ) کالکوپیریت (N6_1) در کانسنگ جارو.



شکل ۷ تصویر Element mapping زمینه سنگ کانسار مس جارو (گستره مشخص شده توسط مستطیل در شکل ۵- پ).

بررسی شاره‌های درگیر رگه‌های کوارتزی در کانسار جارو

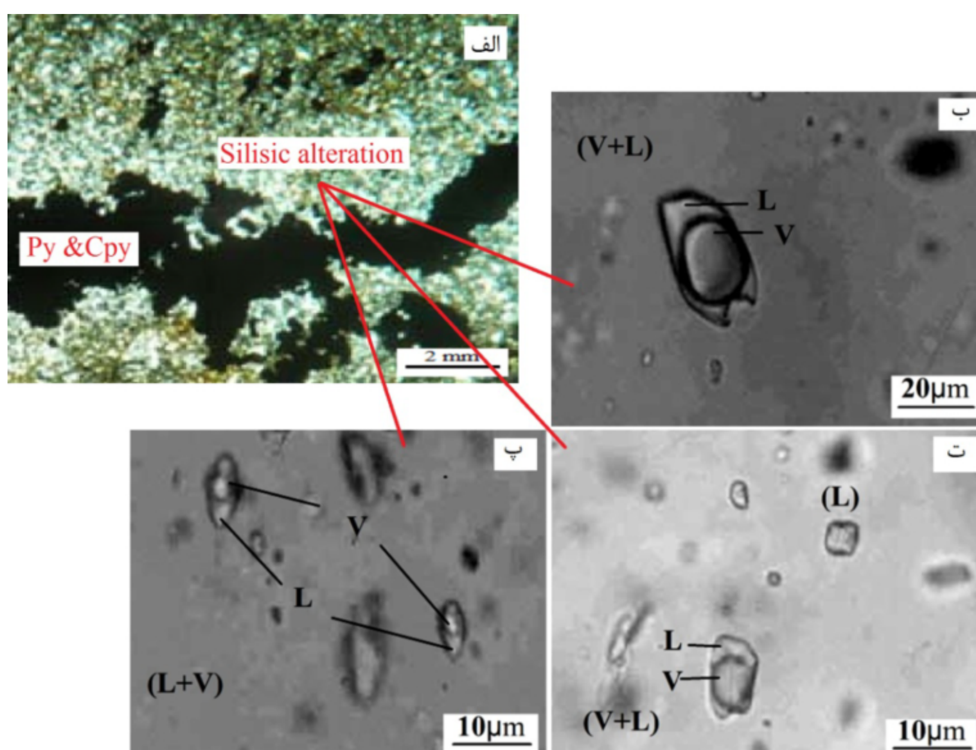
از آنجا که فرایند کانی‌سازی به‌وسیله‌ی عوامل مهمی از قبیل گرما، فشار، pH و عملکرد آب‌های جوی کنترل می شوند [۹]، بررسی شاره‌های درگیر در شناخت فرایندهای حاکم در زمان کانی‌زایی و خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۰-۱۲]. کوارتز به‌دلیل شفافیت بالا و فقدان رخ، مناسب‌ترین کانی برای بررسی شاره‌های درگیر در کانسارهای مختلف است. رگه‌ای سیلیسی- سولفیدی در بخش‌های خرد شده و شکستگی‌های سنگ میزبان کانسار جارو به فراوانی مشاهده می‌شوند. بخش داخلی این رگه‌ها از پیریت و کالکوپیریت و بخش خارجی آن‌ها از کوارتز تشکیل شده است (شکل۸- الف). با توجه به مطالب بالا، تلفیق نتایج حاصل از بررسی شاره‌های درگیر کوارتز با شواهد سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی یاد شده کلید ارزشمندی برای بازسازی شرایط فیزیکوشیمیایی، ماهیت و خاستگاه شاره‌های کانسارساز منطقه‌ی مورد بررسی است. شاره‌های درگیر کوارتز از نظر شکل ظاهری و بر اساس پارامترهای رودر[۴] [۱۳] و شفرد و همکاران[۵] [۱۴]، به دو گونه شاره‌های درگیر دوکی شکل و شاره‌های درگیر با شکل نامنظم تقسیم شده‌اند. همچنین بر اساس نوع و درصد فازهای موجود [۱۴]، بیشتر از شاره‌های درگیر دو فازی غنی از گاز (V+L) (شکل ۸- ب) و غنی از مایع (L+V) (شکل ۸- پ) تشکیل می‌شوند. علاوه بر شاره‌های دو فازی یاد شده، به ندرت شاره‌های درگیر تک فازی (L) (شکل ۸- ت) نیز قابل شناسایی هستند. مقدار شوری شاره بر اساس معادله‌ی شفرد و همکاران [۱۴] بین ۶٫۲ تا ۱۲ معادل درصد وزنی نمک (شکل ۹- الف) و دمای همگن شدن (T_H) آن ها، ۹۸٫۲ تا ۱۶۱٫۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است (جدول۴). با استفاده از نمودار پیرانجو[۶] [۱۵] که بر اساس دمای همگن شدگی و درصد وزنی نمک طعام در شاره‌های درگیر ارائه شده است، همبافت موثر در حمل فلزات کانسار جارو از نوع سولفیدی است و می‌توان نتیجه گرفت که SO_4^{-2} یا HS^- مهم‌ترین آنیون‌های حمل کننده‌ی فلزات بوده‌اند (شکل ۹- ب). مشاهده‌ی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت در کانسار جارو این ادعا را تایید می‌کند. همچنین بر اساس دمای همگن شدگی- شوری و با استفاده از نمودار ویلکینسون[۷] [۱۶] تکوین کانسار از نوع کانسارهای وراگرماست (شکل ۹- پ).

مقایسه‌ی تغییرات شوری و دمای همگن شدگی شاره‌های درگیر کوارتز در کانسار جارو نیز نشان دهنده‌ی اختلاط گرماب‌های کانسارساز با شاره‌های جوی نزدیک به سطح زمین است [۳] (شکل ۹- ت).

برداشت

سنگ‌های آذرین اطراف کانسار جارو شواهد تشکیل در محیط کششی پسا فرورانش را نشان می‌دهند. در این منطقه حاکم بودن محیط کششی مکان مناسبی برای تشکیل کانسارهای رگه‌ای را فراهم آورده است. مشاهده‌ی بافت پر کننده‌ی شکاف‌ها و رگه‌ها از شواهد این ادعا است. با توجه به پتانسیل اندک سنگ‌های آذرین منطقه از نظر عناصر کانه‌ساز، به نظر می‌رسد ماگماتیسم سهم مهمی در کانه‌زایی منطقه نداشته و تنها به‌صورت یک موتور گرمایی در به حرکت درآوردن فلزات ایفای نقش کرده است. شواهد حاصل از ریز گرماسنجی شاره‌های درگیر کانسار جارو؛ مانند شوری پایین و دمای همگن شدگی نسبتاً گسترده نشان دهنده‌ی خاستگاه وراگرمایی کانسار است. شواهد اخیر تایید می‌کند که نمی‌توان یک خاستگاه ماگمایی محض را برای کانه‌زایی منطقه در نظر گرفت. مشاهده‌ی کانی‌های سولفیدی- اکسیدی مس و آهن در کنار یکدیگر و وجود رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌زایی مس بین رگه‌هایی با کانی‌زایی آهن، می‌تواند نشانگر کانی‌زایی مس و آهن در یک فاز، ولی تقدم نسبی تشکیل آهن نسبت به رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌زایی مس باشد. همچنین از آنجا که شاره‌های حاوی مس به‌مقدار اقتصادی در محیط‌هایی با نسبت بالای آب به سنگ تشکیل می‌شوند، می‌توان گفت که دگرسانی های سیلیسیک، سریسیتیک و کلریتی نمونه‌های مورد بررسی معرف نسبت بالای آب به سنگ، pH قلیایی تا خنثی شاره‌ی کانه‌ساز و ماهیت نسبتاً احیایی آن است. وجود مالاکیت و آزوریت که در اغلب نمونه‌ها، درزها و رگه‌های موجود در سنگ را پر کرده‌اند؛ حاکم بودن محیط احیایی را تایید می‌کند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های ICP-AES و AAS می‌توان نتیجه گرفت که کانسار جارو علاوه بر مس، از نظر نقره و طلا نیز از پتانسیل اقتصادی نسبتاً متوسطی برخوردار است. نتایج Element mapping این کانسار نشان دهنده‌ی تمرکز عنصر نقره در کانی کالکوپیریت است.

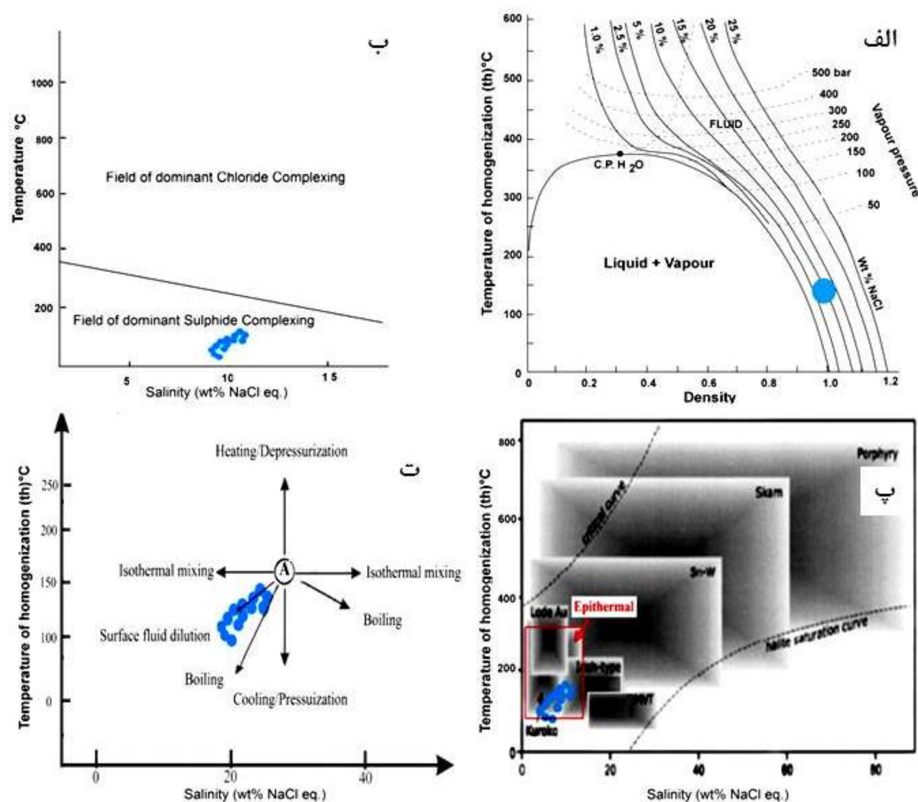
4- Roedder
5- Shepherd et al.
6- Pirajno
7- Wilkinson



شکل ۸ الف) رگه متشکل از کالکوپیریت، پیریت و اکسید آهن در کانسار جارو. دگرسانی سیلیسی در اطراف این رگه مشاهده می شود (نور XPL)، ب) شاره های درگیر اولیه دو فازه غنی از گاز (V+L)، پ) شاره های درگیر اولیه دو فازه غنی از گاز (V+L) درکنار شاره های دو فازه غنی از مایع (L+V)، ت) شاره های درگیر اولیه تک فازی (L) در کوارتز های رگه ای کانسار جارو.

جدول ۴ نتایج به دست آمده از آزمایش های میکروترمومتری شاره های درگیر کوارتز در کانسار جارو.

شماره نمونه	تعداد شاره مطالعه شده	T ice	TH	شوری (wt% NaCl eq.)	نوع فاز
1-S11	۷	-۵۱	۱۲۴	۱۱/۵	L+V
2-S11	۵	-۵۲	۱۶۱/۵	۷/۱	V+L
3-S11	۱۰	-۵۶	۱۴۲/۴	۸/۳	L+V
4-S11	۵	-	۱۰۱/۲	۱۱/۸	L+V
5-S11	۴	-	۱۴۱/۵	۷/۵	L+V
6-S11	۹	-	۱۴۹	۶/۲	L+V
1-S13	۶	-۵۴	۱۲۱	۹/۳	V+L
2-S13	۸	-۵۵	۱۳۶	۷/۸	L+V
3-S13	۱۳	-۵۳	۱۱۴	۱۱/۲	L+V
4-S13	۲	-۵۳	۱۴۸	۷/۰	V+L
1-S18	۲	-۵۴	۱۵۴	۶/۵	L+V
2-S18	۶	-	۹۲/۵	۱۲/۱	V+L
3-S18	۷	-۵۲	۱۱۲/۵	۱۰/۵	L+V
4-S18	۶	-	۹۸/۲	۱۲/۰	V+L



شکل ۹ نمایش نتایج حاصل از میکروترمومتری شاره‌های درگیر کوارتز در کانسار جارو. الف) نمودار دمای همگن شدگی- چگالی به منظور تعیین فشار با توجه به شوری شاره‌های درگیر [۱۴]، ب) نمودار دمای همگن شدگی- شوری شاره های به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) موثر در حمل عناصر کانسار ساز [۱۵]، پ) نمودار تعیین ژنز کانسار بر اساس دمای همگن شدن- شوری شاره های درگیر [۱۶]، ت) مدل شماتیک برای نشان دادن روندهای حاصله از فرایندهای مختلفی که دما و شوری یک شاره درگیر با ترکیب A را تحت تاثیر قرار می دهد [۱۶].

مشاهده‌ی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت و نتایج حاصل از بررسی شاره‌های درگیر کوارتز در منطقه نشان دهنده‌ی اهمیت نقش همبافت‌های سولفیدی و آنیون‌های SO_4^{-2} یا HS^- در انتقال عناصر فلزی است. در نهایت به‌نظر می‌رسد فلزات کانسار ساز پس از ماگماتیسم، به‌وسیله‌ی گرمابها صعود کننده از میان پی سنگ دگرگونه و سنگ میزبان آذرین عبور کرده و در مسیر خود با شاره‌های جوی آمیخته شده‌اند. وجود شاره‌های دو فازی غنی از مایع در کنار شاره‌های دو فازی غنی از گاز تاییدی بر پدیده‌ی جوشش و آمیختگی شاره‌های ماگمایی و جوی در منطقه است. احتمالاً آمیختگی این شاره‌های بارور با شاره‌های جوی در نزدیکی سطح زمین، مواجه شدن با فضاهای گسسته سنگ میزبان و شکستگی‌های موجود در آن و در نهایت کاهش فشار شاره به ته نشست فلزات همراه در کانسار جارو انجامیده است.

مراجع

[۱] یعقوب پور ع.، غفاری ز.، مسعودی ف.، طالع فاضل ا.، *"خصوصیات کانی شناسی، بافت و ساخت و ژئوشیمی کانسار جارو (جنوب خاور اشتهارد): کانی سازی فلزات پایه و نقره با میزبان برشی"*، اولین همایش ملی مس، پژوهشکده صنایع معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۹۰) ص. ۲۴- ۳۲.

[۲] حلمی ر.، *"بررسی سنگ شناسی و ژئوشیمی سنگ های آذرین شمال غرب ساوه (شمال نیوشت)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران (۱۳۷۰) ۱۸۰ ص.

[۳] صالحی ز.، فرامرزی ن.س.، مسعودی ف.، رضوی س.م.، *"ویژگی‌های سیالات کانه‌ساز در کانسار مس، نقره و طلای جارو (جنوب شرق اشتهارد-کرج)"*، مجله ژئوشیمی دانشگاه زرند کرمان، شماره ۳ (۱۳۹۳) ص ۳۲- ۴۵.

[۴] صالحی ز.، *"پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین جنوب شرق اشتهارد و نگرشی بر کانی زایی منطقه"*، رساله دکترای دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال (۱۳۹۳) ۲۷۰ ص.

[5] Irvine T.N., Baragar W.R.A., *"Guide to the chemical classification of the common volcanic",* Canadian Journal of Earth Sciences 8 (1971) 523-545.

[6] Shand S.J., *"Eruptive Rocks"*, Thomas Murby and Co., London (1947) 488p.

[7] Harris N. B. W., Xu R., Lewis C. L., Hawkeworth C. J., Zhang Y., *"Isotope geochemistry of the Tibet Geotraverse, Lhasa to Golmud"* , Philosophical Transactions of the Royal Society of London 327 (1988) 263-285.

[8] Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., *"Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks"*, Journal of petrology 25 (1984) 956-983.

[9] Pirajno F., *"Hydrothermal mineral deposits",* Springer Verlag. 13 (1980) 218p.

[10] Playnova G., *"physicochemical modeling of the coupled behavior of gold and silver in hydrothermal processes: gold fineness, Au/Ag ratios and their possible implications"*, chemical geology, 255 (2008) 399-413.

[11] Meyer C., Hemley J.J., *"Wall rock alteration"*, In H.L.Barnes, Geochemistry of hydrothermal ore deposits 2 (1997) 166-235.

[۱۲] مسعودی ف.، جمشیدی بدر م.، صالحی ز.، *"کاربرد شواهد کانی شناسی و بافتی در تشخیص متاسوماتیسم آلکالن در استوک گرانیتوئیدی دودهک (شمال شرق محلات)"*، مجله بلور شناسی و کانی شناسی، شماره ۲ (۱۳۸۶) ص ۴۵۳-۴۷۰.

[13] Roedder E., *"Fluid inclusions",* Rev Miner 12 (1984) 646p.

[14] Shepherd T.J., Rankin A. H., Alderton D.H. M., *"A practical guide to fluid inclusion studies*", Blackie, Glasgow (1985) 239p.

[15] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral systems",* Springer, New York (2009) 1273p.

[16] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits",* Lithos 55 (2001) 229-272.